§ 1.3. Закон Ньютона — закон или определение?

Начнем с анализа понятия "физического закона". Поводом для такого анализа служит та неопределенность, которая до сих пор остается при трактовке второго закона механики Ньютона

$$mw = f,$$

закона Ома

$$I = \frac{U}{R},$$

известного соотношения электростатики

$$F = qE$$

и целого ряда других подобных соотношений: является ли каждое из выписанных соотношений "физическим законом" или определением, соответственно, силы f, сопротивления R, напряженности электрического поля E?

Заметим, что никаких проблем не возникает, когда речь идет о зависимости, например, давления реального газа P от его объема V при постоянной температуре. Здесь совершенно ясно, что имеет место простейший "физический закон" — связь между двумя независимо определенными, измеряемыми на опыте физическими величинами P_i и V_i, относящимися к различным состояниям i реального газа

$$P_i = P(V_i).$$

Когда же речь заходит о законе Ньютона $f = mw$ или о соотношении $F = qE$, ситуация сильно осложняется тем, что, строго говоря, хорошо определенной и измеряемой на опыте величиной является лишь ускорение w в первом случае и сила F, действующая на заряд в электрическом поле,— во втором. Что же касается силы f и массы m в первом случае и электрического заряда q и напряженности электрического поля E — во втором [*)], то вопрос об их независимом определении представляется не таким простым, как это может показаться на первый взгляд.

Вот что писал по поводу изложения механики Генрих Герц: "Кажется почти невозможным сама мысль искать логические несовер-

---

[*)] При последовательном (иерархическом) построении физики мы можем считать, что в электростатике понятие силы заимствуется из механики, где оно уже определено. Поэтому в законе $F = qE$ можно рассматривать F как хорошо определенную величину.

шенства в системе, которая разработана лучшими умами. Но прежде чем отказаться от дальнейшего исследования, следует спросить, все ли, в том числе и лучшие умы, были удовлетворены этой системой... По моему мнению, прежде всего надо указать на то, что как раз введение в механику очень трудно излагать вдумчивым слушателям, не ощущая при этом необходимости то тут, то там приносить этим слушателям, конечно, не без некоторого смущения, извинения и не испытывая желания побыстрее перейти от введения к примерам, которые говорят сами за себя" [10].

Стараясь объяснить, почему Герц не был удовлетворен изложением механики в рамках классической системы, Анри Пуанкаре писал: "Прежде всего мы оказываемся перед трудностями, когда хотим дать определение основным понятиям. Что такое масса? "Это,— отвечает Ньютон, — произведение объема на плотность". — "Лучше было бы сказать, — отвечают Томсон и Тэт,— что плотность есть количество массы в единице объема". — Что такое сила? "Это, — скажет Лагранж, — причина,которая производит движение тела или которая стремится произвести движение". — "Это, — отвечает Кирхгоф, — произведение массы на ускорение". Но тогда почему не сказать, что масса есть количество силы, рассчитанной на единицу ускорения? Эти затруднения непреодолимы. Когда говорят, что сила есть причина движения, — это метафизика, и это определение, если бы пришлось довольствоваться им, оказалось бы совершенно бесплодным. Чтобы определение могло быть полезным, оно должно научить измерять силу; впрочем, этого достаточно, нет никакой необходимости, чтобы оно объясняло, что такое сила в себе и что она является причиной или следствием движения. Итак, мы возвращаемся к определению Кирхгофа: сила равна массе, умноженной на ускорение. На этот "закон Ньютона" перестают, в свою очередь, смотреть как на экспериментальный закон, он становится только определением. Но это определение также недостаточно, потому что мы не знаем, что такое масса... Не остается ничего, и наши усилия были бесплодны, — мы оказались перед необходимостью прибегнуть к следующему определению, которое, по существу, является признанием нашего бессилия: массы представляют собой коэффициенты, которые удобно вводить в вычисления (см. [20]. — Ю.К.)... Мы должны сделать вывод, что при помощи классической системы невозможно дать удовлетворительную идею о силе и массе" [21].

Итак, трудности, возникшие при попытке строгого определения понятий массы, силы, инерциальной системы отсчета, не являются случайными. Как показали работы Герца, Кирхгофа, Гельмгольца, Пуанкаре, эти трудности носят принципиальный характер. Для их преодоления необходимо выйти за рамки существующей парадигмы.

Но чтобы это сделать, необходимо создать новую концептуальную систему, в основании которой лежали бы новые конструктивные понятия и принципы.

Обратимся к ее истокам и проиллюстрируем основные понятия и принципы этой новой концептуальной системы тремя следующими примерами, рассмотрение которых в 1961—1965 годах привело меня к формулировке общего *принципа феноменологической симметрии*, лежащего в основании теории физических структур.

§ 1.4. Предпосылки теории физических структур, содержащиеся в законе Ньютона

Рассмотрим второй закон механики Ньютона в его традиционной форме:

$$mw = f \qquad (1.4.1)$$

Входящие в него физические величины — масса m и сила f, с одной стороны, и ускорение w — с другой, имеют, вообще говоря, различную математическую природу. Так, масса m зависит от ускоряемого тела i и не зависит от акселератора α, сообщающего телу i ускорение w; сила f, напротив, зависит от акселератора α и не зависит от тела i. Что же касается ускорения w, то оно зависит как от тела i, так и от акселератора α.

Таким образом, масса m_i является некоторой вещественной функцией одной нечисловой переменной — тела i, т.е.

$$m : \mathfrak{M} \to \mathfrak{R},$$

где $\mathfrak{M} = \{i,k,\ldots\}$ — множество всех ускоряемых тел $i,k,\ldots$;
$\mathfrak{R}$ — множество вещественных чисел;
сила f_α является другой вещественной функцией *одной* нечисловой переменной — акселератора α, т.е.

$$f : \mathfrak{N} \to \mathfrak{R},$$

где $\mathfrak{N} = \{\alpha, \beta,\ldots\}$ — множество всех акселераторов $\alpha, \beta,\ldots$;
ускорение же $w_{i\alpha}$ является вещественной функцией двух нечисловых переменных — тела i и акселератора α, т.е.

$$w : \mathfrak{M} \times \mathfrak{N} \to \mathfrak{R}$$

Итак, специально выделяя независимые нечисловые переменные $i \in \mathfrak{M}$ и $\alpha \in \mathfrak{N}$, перепишем закон Ньютона (1.4.1) в виде: